



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

● **Offenlegungsschrift** ●  
**DE 197 20 482 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 04 B 43/04**  
F 04 B 45/047

21 Aktenzeichen: 197 20 482.1  
22 Anmeldetag: 16. 5. 97  
43 Offenlegungstag: 19. 11. 98

DE 197 20 482 A 1

71 Anmelder:  
Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,  
DE

72 Erfinder:  
Kämper, Klaus-Peter, Dr., 55278 Mommenheim, DE;  
Döpper, Joachim, 64521 Groß-Gerau, DE

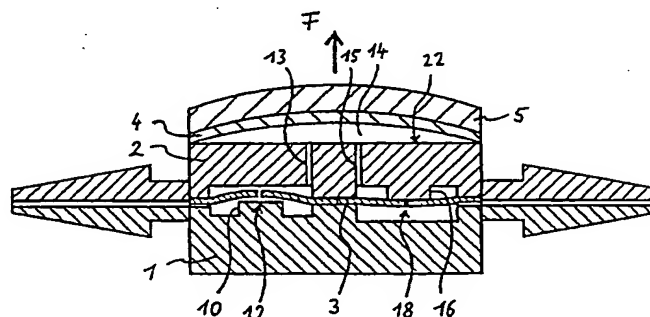
56 Entgegenhaltungen:  
DE 44 02 119 A1  
DE 43 32 720 A1  
DE 33 20 443 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Mikromembranpumpe

57 Es wird eine Mikromembranpumpe beschrieben, die Flüssigkeiten selbsttätig ansaugen und sich selbst befüllen kann. Hierzu ist die Pumpkammer (14) so ausgebildet, daß die Pumpmembran (4) im entleerten Zustand der Pumpkammer (14) an der Pumpkammerwand (22) anliegt, wodurch das Volumen der Pumpkammer (14) minimiert ist. Die Pumpkammerwand (22) kann hierzu eben sein, so daß die Pumpmembran (4) in ihrer unausgelenkten Ruheposition an der ebenen Pumpkammerwand (22) anliegt. Vorzugsweise umfaßt die Pumpe Membranventile, die aus einer zwischen zwei Gehäusehälften (1, 2) angeordneten Ventilmembran (3) und Ventilsitzen (10, 16) bestehen, und einen auf der Pumpmembran (4) befestigten heteromorphen Piezoaktuator (5). Die kompakte Pumpe eignet sich zum Fördern von Gasen sowie Flüssigkeiten und läßt sich aus wenigen Komponenten kostengünstig fertigen.



DE 197 20 482 A 1

Die Erfindung betrifft eine Mikromembranpumpe zum Fördern von Gasen und Flüssigkeiten.

Mikromembranpumpen finden zunehmend Einsatz u. a. in den Bereichen chemische Analytik, Mikroreaktionstechnologie, Biochemie, Mikrobiologie und Medizin.

Vieler dieser Anwendungen stellen an Mikromembranpumpen die Anforderung, daß Flüssigkeiten problemlos gefördert werden können. Hierzu ist es sehr vorteilhaft, daß die Pumpen selbstansaugend sind. Um Flüssigkeiten in eine zunächst nur mit Luft befüllte Pumpe ansaugen zu können, muß beim Betrieb mit Luft ein ausreichend hoher Unterdruck erzeugt werden. Weiterhin ist es erforderlich, daß die Pumpen auch selbstbefüllend sind, d. h. daß keine Gasblasen in der Pumpe verbleiben, die die Pumpleistung herabsetzen würden. Darüberhinaus werden in der Regel Förderraten für Flüssigkeiten im Bereich von 1 µl/min bis 1 ml/min gefordert. Hierfür wird häufig ein Förderdruck von mindestens 500 hPa verlangt. Die mit dem zu fördernden Medium in Kontakt kommenden Materialien sollten hinreichend chemisch inert oder biokompatibel sein. Um einen wirtschaftlichen Einsatz zu ermöglichen, sollten Mikromembranpumpen sich kostengünstig fertigen lassen.

Die von H.T.G. van Lintel et. al. in "A piezoelectric micropump based on micromachining of silicon" (Sensors and Actuators, 15, 1988, 153-167) vorgestellte Mikropumpe besteht aus Silizium mit einer Pumpmembran aus Glas, die von einer Piezokeramik ausgelenkt wird. Nachteilig ist die im Vergleich zur Größe der Pumpkammer geringe Verbiegung der Glasmembran, wodurch eine Gasförderung nicht möglich ist. Das Material Silizium ist für viele Anwendungen, beispielsweise in der Medizin, ungeeignet. Darüberhinaus ist die Herstellung mittels mikrotechnologischer Bearbeitungsverfahren für Silizium aufwendig und auf Grund der benötigten relativ großen Grundfläche sehr teuer.

In der DE-A1-44 02 119 wird eine Mikromembranpumpe beschrieben, die aus einem Gehäuseunteil, einem Gehäuseoberteil und einer dazwischenliegenden Pumpmembran besteht, wobei die Membran zusammen mit in das Gehäuse hineinstrukturierten Ventilsitzen auch eine Ventilkfunktion übernimmt. Die Membran schließt sowohl die in dem Gehäuseunteil liegende Pumpkammer als auch die in dem Gehäuseoberteil befindliche Aktorkammer ab. Als Antrieb wird ein mit der Pumpmembran verbundenes Heizelement vorgeschlagen. Durch thermische Ausdehnung eines gasförmigen Mediums bzw. durch einen Phasenübergang eines flüssigen Mediums in seinen gasförmigen Zustand in der Aktorkammer wird die Pumpmembran ausgelenkt. Auf Grund der dünnschichttechnologischen Herstellung des Heizwendels ist die Herstellung aufwendig und damit kostenintensiv. Bei einer Förderung von Flüssigkeiten ist wegen der deutlich höheren Wärmeabfuhr über die Flüssigkeit eine höhere Heizleistung erforderlich. Dies führt zu einer besonders im biochemischen Bereich unerwünschten Erwärmung der Flüssigkeit. Bei einer Unterbrechung des Flüssigkeitsstromes, beispielsweise durch Gasblasen, kann es zu einer Überhitzung des Heizwendels kommen. Schließlich ist durch die geringe Wärmeleitung des Kunststoffgehäuses ein Dauerbetrieb der Pumpe nicht leicht zu realisieren.

Von J. Döpfer et. al. (Development of low-cost injection moulded micropumps, Proceedings ACTUATOR 96, Bremen, June 26-28, 1996) wurde eine Mikromembranpumpe aus zwei Gehäuseteilen, die von einer als Pump- und Ventilmembran dienenden Membran getrennt sind, vorgestellt. In das Gehäuseunteil ist eine Pumpkammer hineinstrukturiert, die von der Membran abgeschlossen wird. Die Pumpkammer ist über Mikrokanäle mit den beiden Membranven-

tilen verbunden. Als Antrieb dient ein heteromorpher Piezoaktuator. Die Gehäuseteile sowie die Membran werden mittels Laserschweißen miteinander verbunden. Wesentlicher Nachteil dieser sowie der zuvor beschriebenen Pumpen ist, daß sie nicht selbstansaugend und selbstbefüllend sind. Eine aufwendige manuelle Befüllung macht einen breiten Einsatz dieser Pumpen für die oben genannten Anwendungen damit nicht möglich.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Mikromembranpumpe zur Verfügung zu stellen, die die oben genannten Anforderungen, insbesondere des Selbstansaugens und Selbstbefüllens, erfüllt.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche beschreiben vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Mikromembranpumpe.

Dadurch, daß die Pumpmembran im entleerten Zustand der Pumpkammer an der Pumpkammerwand anliegt, wird die Pumpkammer erst durch eine Auslenkung der Pumpmembran weg von dieser Position gebildet. Hierdurch ist das innere Restvolumen der Pumpe bezüglich des Volumens der Pumpkammer minimiert. Unter innerem Restvolumen wird hier das Volumen zwischen dem Einlaß- und dem Auslaßventil verstanden, das die beiden der Pumpkammer zugewandten Bereiche der Ventilkammern, die Pumpkammer im entleerten Zustand und die beiden die Pumpkammer mit den Ventilkammern verbindenden Kanäle umfaßt. Bei gleichzeitiger Minimierung des Volumens der Bereiche zwischen den Ventilen und der Pumpkammer läßt sich somit ein im Vergleich zum maximalen Volumen der Pumpkammer möglichst kleines inneres Restvolumen der Pumpe erreichen. Hierdurch können auch bei Gasen trotz ihrer Kompressibilität hohe Förderdrücke erzielt werden. Dies hat den Vorteil, daß die Pumpe auch den notwendigen Unterdruck aufbauen kann, um Flüssigkeiten selbsttätig anzusaugen. Da im entleerten Zustand der Pumpkammer die Pumpmembran weitgehend bis vollständig an der Pumpkammerwand anliegt, d. h. das Volumen der Pumpkammer in dieser Position der Pumpmembran vernachlässigbar klein ist, liegt in der Pumpkammer kein sogenanntes Totvolumen vor, in dem sich mit dem flüssigen Medium beförderte Gasblasen ansammeln und so die Funktion der Pumpe beeinträchtigen könnten. Die Pumpe ist damit selbstbefüllend. Ein vernachlässigbares Totvolumen ist weiterhin eine Voraussetzung für eine geringe Vermischung des zu fördernden Mediums. Dies ermöglicht eine Anwendung der Pumpe beispielsweise in der chemischen Analytik, wo Medien mit Konzentrationsgradienten zu fördern sind.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform liegt die Pumpmembran in ihrer unausgelenkten Ruheposition eben an der ebenfalls im wesentlichen ebenen Pumpkammerwand an. In einer anderen Ausführungsform ist die Pumpkammerwand so konkav gewölbt, beispielsweise halbkugelförmig, daß die Pumpmembran erst in einer ausgelenkten Position an der Pumpkammerwand eng anliegt.

Weiterhin bevorzugt ist eine Ausführungsform, in der das innere Restvolumen, das vorwiegend von den Bereichen zwischen den beiden Ventilen und der Pumpkammer bestimmt wird, so minimiert ist, daß das Verhältnis dieses Volumens zu dem maximal erreichbaren Volumen der Pumpkammer etwa 1 : 1 ist. Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform weist ein Verhältnis von 1 : 10 auf. Mit solch einem im Vergleich zum maximalen Volumen der Pumpkammer kleinen inneren Restvolumen lassen sich besonders hohe Förderdrücke für Gase realisieren und Flüssigkeiten auch über größere Höhen hinweg mit einer mit Luft befüllten Pumpe ansaugen.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfin-

dung werden das Einlaß- und Auslaßventil aus Membranventilen gebildet. Ein Membranventil besteht vorzugsweise aus einem Ventilsitz, welcher aus einer erhabenen Mikrostruktur in der Ventilkammer besteht, und einer Membran, die gegenüber des Ventilsitzes angeordnet ist und mindestens ein Loch aufweist. Die Höhe des Ventilsitzes kann so bemessen sein, daß die Membran diesen nicht berührt, gerade auf dem Ventilsitz aufliegt oder über diesen gespannt wird, je nachdem bei welcher Druckdifferenz das Ventil öffnen bzw., schließen soll. Möglich ist jedoch auch die Verwendung von beispielsweise Mikrokugelventilen oder dynamischen Ventiltypen, wie Düsen bzw. Diffusorstrukturen oder Tesladioden.

Dient die Pumpmembran gleichzeitig als Ventilmembran, so liegen hierzu die Ventile seitlich von der über Mikrokanäle mit den Ventilen verbundenen Pumpkammer.

Vorzugsweise weist die Mikromembranpumpe jedoch neben der Pumpmembran als eine weitere Membran die Ventilmembran auf. Hierzu besteht das Gehäuse vorteilhaft aus zwei Hälften, dem Gehäuseoberteil und dem Gehäuseunterteil. Das Gehäuseoberteil bildet auf seiner oberen Seite zusammen mit der auf dieser Seite befestigten Pumpmembran die Pumpkammer. Über Mikrokanäle ist die Pumpkammer mit den in die Unterseite des Gehäuseoberteils hineinstrukturierten Ventilkammern verbunden. Eine Ventilkammer weist zur Bildung des Auslaßventils einen Ventilsitz auf. Das Gehäuseunterteil weist ebenfalls Ausnehmungen zur Führung des durchströmenden Mediums sowie den Ventilsitz für das Einlaßventil auf. Zwischen den beiden Gehäusehälften befindet sich vorzugsweise eine Ventilmembran, in die im Bereich der Ventilsitze jeweils mindestens ein Loch hineinstrukturiert ist. Besonders vorteilhaft liegen bei dieser Ausführungsform mit einer Pumpmembran und einer Ventilmembran die Ventile gegenüber der Pumpkammer, so daß die Pumpe im Gegensatz zu einer seitlichen Anordnung der Ventile sehr kompakt gestaltet werden kann.

Vorteilhafterweise ist das Pumpengehäuse außen so gestaltet, daß Zu- und Ableitungen für das zu fördernde Medium leicht mit der Pumpe verbunden werden können. Beispielsweise sind hierfür konische, mit Hinterschneidungen versehene Strukturen zum Anschluß von Schläuchen vorgesehen.

Weiterhin vorteilhaft weist eine Hälfte des Gehäuses Strukturen, beispielsweise Stifte oder Stege auf, die in komplementäre Strukturen, wie Sacklöcher oder Rillen, der anderen Gehäusehälfte passen und so eine einfache Relativjustage der beiden Gehäusehälften zueinander bei der Montage der Pumpe ermöglichen. Ist zwischen den Gehäusehälften eine Ventilmembran vorgesehen, so weist diese vorteilhaft im Bereich der Justagestrukturen entsprechende Ausnehmungen, beispielsweise Löcher oder Schlitze, auf.

Die Gehäuseteile, die Pumpmembran und/oder die Ventilmembran bestehen vorzugsweise aus Kunststoff, beispielsweise aus Polycarbonat, PFA oder anderen chemisch inerten und/oder biokompatiblen Materialien. Als kostengünstiges Herstellungsverfahren für die Gehäuseteile eignen sich Abformverfahren, wie beispielsweise Mikrospritzguß.

Eine Oberflächenbehandlung der mit dem zu fördernden Medium in Kontakt tretenden Flächen beispielsweise mittels eines Plasmas kann auf Grund der Erhöhung der Benetzbarkeit vorteilhaft sein zur Vereinfachung eines blasenfreien Befüllens der Pumpe mit gewissen Flüssigkeiten.

Das Gehäuse besteht vorzugsweise aus zusammengesetzten Kunststoffkomponenten. Vorteilhaft eignet sich zum Verbinden der Komponenten das Laserschweißen. Hierzu wird ein Laserstrahl auf die zu verschweißende Grenzfläche zweier Komponenten fokussiert und entlang der zu verschweißenden Bahnen geführt. Es kann auch vor-

teilhaft sein, daß die Schweißbahnen so eng miteinander benachbart liegen, daß im wesentlichen die gesamte Grenzfläche zwischen den einzelnen Komponenten mit Ausnahme der Bereiche der Ventilkammern und der Pumpkammer verschweißt ist.

Vorteilhaft ist eine der Komponenten in dem verwendeten Wellenlängenbereich des Laserstrahls transparent, während die andere Komponente Licht dieser Wellenlänge absorbiert. Der Laserstrahl tritt während des Schweißvorgangs durch das transparente Material hindurch und wird auf die Grenzfläche zum nicht transparenten Material fokussiert. Durch Absorption an der Grenzfläche kommt es zur lokalen Erhitzung und einer damit einhergehenden Verschmelzung der Materialien. Neben einer festen Verbindung der Komponenten ermöglicht dies eine Abdichtung der einzelnen durchströmten Bereiche der Mikromembranpumpe untereinander sowie nach außen. Mittels Strahlaufteilung lassen sich vorteilhaft mehrere Stellen aber auch mehrere Mikropumpen gleichzeitig schweißen. Die Komponenten können allerdings auch mittels anderer Verfahren, beispielsweise Kleben, miteinander verbunden sein.

Als Vorrichtung zur Auslenkung der Pumpmembran können piezoelektrische, thermoelektrische oder thermische Elemente mit der Pumpmembran verbunden sein. Es ist auch möglich, hydraulische, pneumatische, elektromagnetische, elektrostatische oder auf Formgedächtnislegierungen basierende Antriebe vorzusehen. Diese können im Gehäuse der Mikropumpe integriert sein oder von außen angekoppelt sein.

Bevorzugt ist die Verwendung mindestens eines heteromorphen Piezoaktuators als Vorrichtung zum Auslenken der Pumpmembran. Der gesamte Piezoaktor kann beispielsweise durch Kleben mit der Pumpmembran verbunden sein. Durch eine angelegte Spannung wird eine Verbiegung des Piezoaktuators induziert. Dies führt zu einer Auslenkung der Pumpmembran und zur Veränderung des Volumens der Pumpkammer. Hierdurch wird ein Druckunterschied zwischen dem Einlaßkanal und der Pumpkammer erzeugt. Ist der Druckunterschied groß genug, öffnet das Einlaßventil, so daß in die Pumpkammer das zu fördernde Medium hineinströmt. Gegen Ende der Auslenkung der Pumpmembran nimmt der Druckunterschied ab, so daß das Einlaßventil schließt. Bei Umkehrung der angelegten Spannung wird das Volumen der Pumpkammer verkleinert. Ab einer von der Bemessung des Ventils abhängigen Druckdifferenz zwischen der Pumpkammer und dem Auslaß öffnet das Auslaßventil und das Medium wird in Richtung des Ausgangskanals gedrückt. Durch eine periodische Ansteuerung des Piezoaktuators läßt sich eine quasi-kontinuierliche Förderung erreichen.

Durch einen kompakten Aufbau aus wenigen Komponenten unter Einsatz einfacher Herstellungs- und Verbindungstechniken lassen sich erfindungsgemäße Mikromembranpumpen in großer Stückzahl kostengünstig herstellen.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine Mikromembranpumpe mit ebener Pumpkammerwand im Querschnitt von der Seite in schematischer Darstellung,

Fig. 2 die Mikromembranpumpe nach Fig. 1 während des Ansaugens,

Fig. 3 die Mikromembranpumpe nach Fig. 2 während des Entleerens,

Fig. 4 das Gehäuseunterteil, die Ventilmembran und das Gehäuseoberteil einer Mikromembranpumpe in perspektivischer Darstellung,

Fig. 5 eine Mikromembranpumpe mit gewölbter Pump-

kammerwand im Querschnitt von der Seite in schematischer Darstellung.

Fig. 6 die Mikromembranpumpe nach Fig. 5 während des Ansaugens, wobei alle Darstellungen nicht maßstabsgetreu sind.

Die in Fig. 1 schematisch dargestellte Mikromembranpumpe besteht aus einem Gehäuseunterteil 1, einem Gehäuseoberteil 2, einer zwischen beiden Gehäusehälften 1, 2 liegenden Ventilmembran 3 sowie aus einer Pumpmembran 4, auf der ein Piezoaktuator 5 angebracht ist.

Die Gehäusehälften sind auf zwei gegenüberliegenden Seiten so ausgebildet, daß sie zusammen seitlich an der Pumpe einen Schlauchanschluß 6a, 6b für den Einlaß und einen Anschluß 7a, 7b für den Auslaß bilden. Beide Anschlußstücke weisen im Inneren einen Einlaßkanal 8 bzw. einen Auslaßkanal 9 auf. In einer Ausnehmung des Gehäuseunterteils 1 ist ein Ventilsitz 10, über dem sich ein Loch 12 der Ventilmembran 3 befindet, hineinstrukturiert. Gegenüberliegend befindet sich eine Ausnehmung 11 in der Unterseite des Gehäuseoberteils 2, die über einen Mikrokanal 13 mit der Pumpkammer 14 verbunden ist. Die Pumpkammer 14 wird von der Pumpmembran 4 und der ebenen, die Pumpkammerwand 22 darstellenden oberen Gehäusewand begrenzt. Die Pumpmembran 4 mit aufgesetztem Piezoaktuator 5 ist mit dem Randbereich der Oberseite des Gehäuseoberteils 2 verbunden, wodurch der Querschnitt von oben der Pumpkammer 14 rund ist. In dieser Figur liegt die Pumpmembran 4 auf der ebenen Pumpkammerwand 22 auf, so daß das Volumen der Pumpkammer 14 in dieser unausgelenkten Ruheposition der Pumpmembran 4 vernachlässigbar klein ist. Ein weiterer Mikrokanal 15 verbindet die Pumpkammer 14 mit einer Ausnehmung in der Unterseite des Gehäuseoberteils 2, in der sich ein Ventilsitz 16 des Auslaßventils befindet. In Höhe des Ventilsitzes 16 weist die Ventilmembran 3 ein Loch 18 auf. Über eine Ausnehmung 17 im Gehäuseunterteil 1 ist das Auslaßventil mit dem Auslaßkanal 9 verbunden. Die Mikrokanäle 13 und 15 münden in einen mittleren Bereich der Pumpkammerwand 22. Hierdurch wird verhindert, daß schon bei einer randseitig an die Pumpkammerwand 22 anliegenden Pumpmembran 4 die Zufuhr bzw. Abfuhr des zu fördernden Mediums durch Verdeckung der Öffnungen der Mikrokanäle 13, 15 unterbrochen wird. Der Übersichtlichkeit halber sind die Abmessungen, insbesondere der Ventile und der Membranen, im Vergleich zu den Gesamtabmessungen der Pumpe stark vergrößert dargestellt.

In Fig. 2 ist die Mikromembranpumpe während des Ansaugvorganges dargestellt. Durch die Verbiegung des Piezoaktuator 5 wird die Pumpmembran 4 mit einer Kraft F ausgelenkt, wodurch die Pumpkammer 14 erst gebildet wird. Ebenfalls schematisch dargestellt ist das geöffnete Einlaßventil mit vom Ventilsitz 10 angehobener Ventilmembran 3 mit einem Loch 12.

In Fig. 3 ist der Vorgang des Entleerens der Pumpe schematisch dargestellt. Durch den Piezoaktuator 5 wirkt auf die Pumpmembran 4 eine Kraft F ein, wodurch die Pumpkammer 14 verkleinert wird. Ab einem kritischen Druck öffnet das Auslaßventil. Die Ventilmembran 3 mit einem Loch 18 ist vom Ventilsitz 16 angehoben dargestellt.

In Fig. 4 sind ein Gehäuseunterteil 1, eine Ventilmembran 3 und ein Gehäuseoberteil 2 einer erfindungsgemäßen Mikromembranpumpe in perspektivischer Darstellung gezeigt, wobei im Vergleich zu den Fig. 1 bis 3 ein anderer relativer Maßstab gewählt wurde. In das Gehäuseunterteil 1 sind ein Einlaßkanal 8 und ein Auslaßkanal 9 hineinstrukturiert. Das Einlaßventil wird aus einem Ventilsitz 10, einer Ventilmembran 3 und einer Ausnehmung 11 gebildet. Das Auslaßventil besteht aus einem Ventilsitz 16, der Ventilmembran 3 und

einer Ausnehmung 17. Die für die Ventilfunktion notwendigen Ausnehmungen in der Membran 3 sind nicht dargestellt. Ebenfalls nicht dargestellt sind die Mikrokanäle (13, 15), die von den beiden Ausnehmungen für die Ventile in der gezeigten Unterseite des Gehäuseoberteils 2 zu der auf der Oberseite des Gehäuseoberteils 2 liegenden Pumpkammer (14) führen. Beide Gehäuseteile 1, 2 besitzen Strukturen 6a, 6b, 7a, 7b, die zusammengesetzt Anschlüsse für Schläuche bilden. Das Gehäuseunterteil 1 weist vier Stifte 20 auf, die in entsprechende Sacklöcher 21 des Gehäuseoberteils 2 passen, und so eine einfache Relativjustage ermöglichen. Nur angedeutet sind der Piezoaktuator 5 und die Pumpmembran 4 auf der Oberseite des Gehäuseoberteils 2.

In Fig. 5 ist eine weitere erfindungsgemäße Mikromembranpumpe schematisch dargestellt, wobei die gleichen Bezugszeichen wie zu den vorhergehenden Figuren verwendet wurden. Im Gegensatz zu einer in den Fig. 1 bis 4 dargestellten ebenen Pumpkammerwand 22 ist hier die Pumpkammerwand 23 konkav gewölbt. Die Pumpmembran 4 mit aufgesetztem Piezoaktuator 5 ist mit dem Randbereich der Oberseite des Gehäuseoberteils 2 verbunden. Die im Querschnitt von oben runde Pumpkammer 14 ist über Mikrokanäle 13 und 15 mit dem Ein- und Auslaßventil verbunden. In Fig. 5 ist die Pumpmembran 4 derart ausgelenkt dargestellt, daß diese an der gewölbten Pumpkammerwand 23 eng anliegt, wodurch das Volumen der Pumpkammer 14 in dieser ausgelenkten Position vernachlässigbar klein ist. In Fig. 6 ist die gleiche Mikromembranpumpe mit einer in im Vergleich zu Fig. 5 entgegengesetzter Richtung ausgelenkten Pumpmembran 4 während des Ansaugens dargestellt. Durch diese Auslenkung der Pumpmembran 4 wird die Pumpkammer 14 im wesentlichen erst gebildet.

Eine erfindungsgemäße Mikromembranpumpe wurde mit den Außenabmessungen 10 mm x 10 mm x 3 mm hergestellt, wobei die Pumpmembran eine Dicke von 50 µm und die Ventilmembran eine Dicke von 2 µm aufwies. Als Antrieb diente ein heteromorpher Piezoaktuator mit einem Durchmesser von 10 mm, der aus einer mit einem elektrisch leitfähigen Kleber auf einem Messingblech befestigten Piezokeramik bestand. Das Messingblech diente als eine Elektrode, eine zweite Elektrode war auf der anderen Seite der scheibenförmigen Piezokeramik befestigt. Der gesamte Piezoaktuator wurde auf die Pumpmembran geklebt.

Das maximale Volumen der Pumpkammer (14) betrug etwa 600 nl bei einem inneren Restvolumen der Pumpe von nur 60 nl. Das innere Restvolumen wurde im wesentlichen durch die beiden Mikrokanäle (13, 15), die Ausnehmung (11) des Einlaßventils sowie die Ausnehmung mit dem Ventilsitz (16) des Auslaßventils bestimmt. Aufgrund dieses günstigen Volumenverhältnisses konnte mit Luft ein Gasförderdruck von etwa 500 hPa und ein Unterdruck von etwa 350 hPa erzielt werden, womit die Pumpe selbstansaugend war. Mit Wasser wurde ein Förderdruck bis zu 1600 hPa und eine Förderrate bis zu 250 µl/min erreicht. Der Piezoaktuator wurde mit einer Frequenz von einigen 10 Hz betrieben.

Die Komponenten der Mikromembranpumpe bestanden aus Polycarbonat, wobei die beiden Gehäuseteile (1, 2) im Mikrospritzgußverfahren hergestellt wurden. Die hierfür notwendigen Formeinsätze wurden in einer Kombination aus feinwerktechnischen Verfahren, dem LIGA-Verfahren und Funkenerosionsverfahren hergestellt. Die Löcher (12, 18) in der Ventilmembran (3) sowie die Mikrokanäle (13, 15) durch das Gehäuseoberteil (2) wurden mittels Laserablation erhalten. Die Pumpe wurde in zwei Schritten zusammengefügt. Zuerst wurden die beiden Gehäuseteile (1, 2) mit der dazwischenliegenden Ventilmembran (3) mittels Laserschweißen verbunden. Hierzu wurde ein Laserstrahl durch das transparente Gehäuseunterteil (1) auf die 2 µm

dünne Ventilmembran (3) fokussiert, die auf dem eingefärbten, nicht transparenten Gehäuseoberteil (2) lag. Hierdurch wurden die drei vorher zusammengeklebten Komponenten (1, 3, 2) zusammengeschweißt. In einem zweiten Schritt wurde die transparente Pumpmembran (4) randseitig mit der Oberseite des nicht transparenten Gehäuseoberteils (2) mittels Laserschweißen verbunden. Mikromembranpumpen ließen sich so innerhalb von wenigen Sekunden je Verbindung zusammenfügen.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Gehäuseunterteil
- 2 Gehäuseoberteil
- 3 Ventilmembran
- 4 Pumpmembran
- 5 Piezoaktuator
- 6a Anschluß für Einlaß
- 6b Anschluß für Einlaß
- 7a Anschluß für Auslaß
- 7b Anschluß für Auslaß
- 8 Einlaßkanal
- 9 Auslaßkanal
- 10 Ventilsitz des Einlaßventils
- 11 Ausnehmung
- 12 Loch in Ventilmembran
- 13 Mikrokanal
- 14 Pumpkammer
- 15 Mikrokanal
- 16 Ventilsitz des Auslaßventils
- 17 Ausnehmung
- 18 Loch in Ventilmembran
- 20 Positionierstift
- 21 Sackloch
- 22 ebene Pumpkammerwand
- 23 gewölbte Pumpkammerwand

#### Patentansprüche

1. Mikromembranpumpe, die ein Gehäuse, eine Pumpmembran (4), mindestens eine Vorrichtung zum Auslenken der Pumpmembran sowie mindestens ein Einlaßventil und mindestens ein Auslaßventil umfaßt, wobei eine sich zwischen einer Pumpkammerwand (22) bildende Gehäusewand und der Pumpmembran (4) befindende Pumpkammer (14) mit den beiden Ventilen verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpkammer (14) so ausgebildet ist, daß die Pumpmembran (4) im entleerten Zustand der Pumpkammer an der Pumpkammerwand (22) anliegt.
2. Mikromembranpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpkammerwand (23) konkav gewölbt ist, wobei die Pumpmembran (4) in einer ausgelenkten Position an der Pumpkammerwand (23) anliegt.
3. Mikromembranpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpkammerwand (22) eben ist, wobei die Pumpmembran (4) in ihrer unausgelenkten Ruheposition an der Pumpkammerwand (22) anliegt.
4. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Volumens der Bereiche zwischen den beiden Ventilen und der Pumpkammer (14) zu dem maximalen Volumen der Pumpkammer (14) kleiner gleich 1 : 1 ist.
5. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Volumens der Bereiche zwischen den beiden Ventilen

und der Pumpkammer (14) zu dem maximalen Volumen der Pumpkammer (14) kleiner gleich 1 : 10 ist.

6. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Ventile Membranventile sind, die aus Strukturen des Pumpengehäuses gebildete Ventilsitze (10, 16) aufweisen, wobei mindestens eine Membran mit Ventilfunktion im Bereich der Ventilsitze Löcher aufweist.

7. Mikromembranpumpe nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran mit Ventilfunktion die Pumpmembran (4) ist, die hierzu im Bereich der Ventilsitze Löcher aufweist.

8. Mikromembranpumpe nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Membran mit Ventilfunktion eine Ventilmembran (3) zwischen einem Gehäuseunterteil (1) und einem Gehäuseoberteil (2) liegt, und daß die Pumpmembran (4) auf der Oberseite des Gehäuseoberteils (2) befestigt ist.

9. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß an das Gehäuse Anschlüsse (6a, 6b, 7a, 7b) für Zu- und Ableitungen des zu fördernden Mediums integriert sind.

10. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuseoberteil (2) und das Gehäuseunterteil (1) komplementäre Strukturen (20, 21) aufweisen, die eine Relativjustage der Gehäuseteile (1, 2) zueinander ermöglichen.

11. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Gehäuseteile (1, 2), die Ventilmembran (3) und/ oder die Pumpmembran (4) mit dem Gehäuse mittels Schweißen, vorzugsweise mittels Laserschweißen, verbunden sind.

12. Mikromembranpumpe nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gehäuseteil im beim Laserschweißen verwendeten Wellenlängenbereich transparent, ein anderes Gehäuseteil nicht transparent ist.

13. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslenkvorrichtung mindestens ein piezoelektrisches oder thermoelektrisches Element aufweist.

14. Mikromembranpumpe nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslenkvorrichtung mindestens einen heteromorphen Piezoaktuator (5) aufweist.

15. Mikromembranpumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Auslenkvorrichtung mindestens einen hydraulischen, pneumatischen, thermischen, elektromagnetischen, elektrostatischen oder einen eine Formgedächtnislegierung aufweisenden Antrieb aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

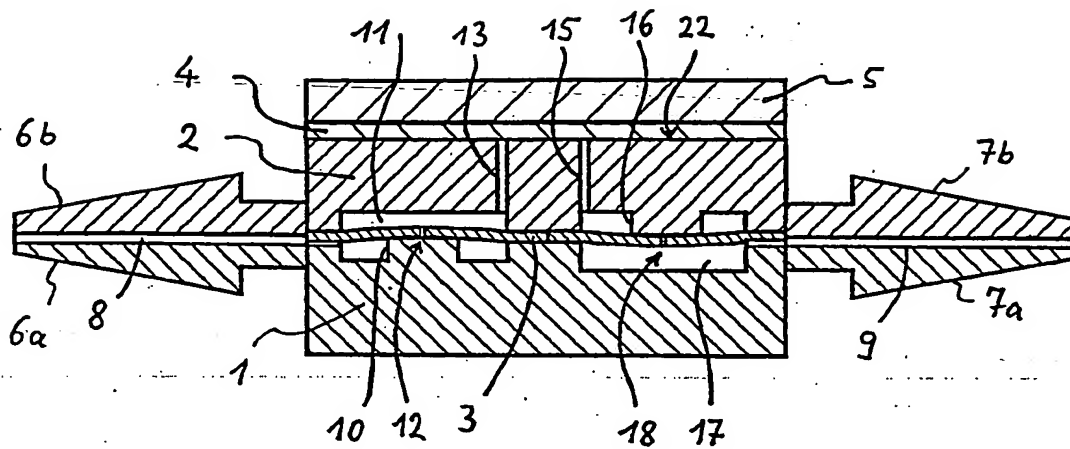


Fig. 1

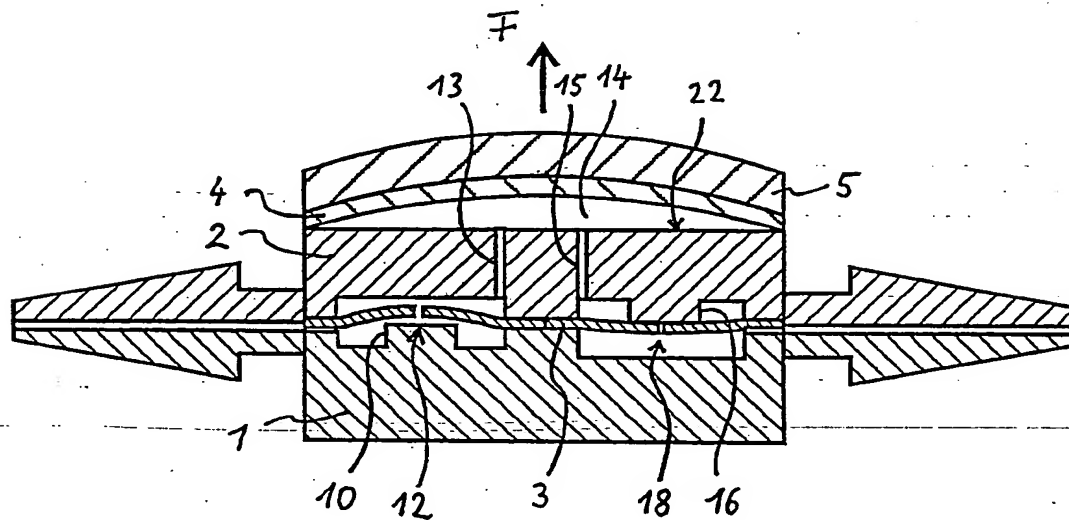


Fig. 2

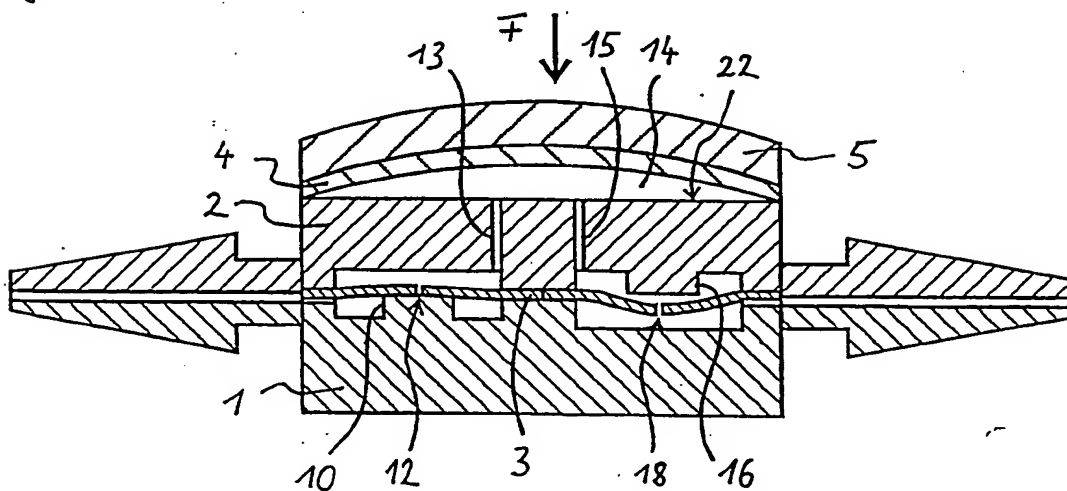


Fig. 3

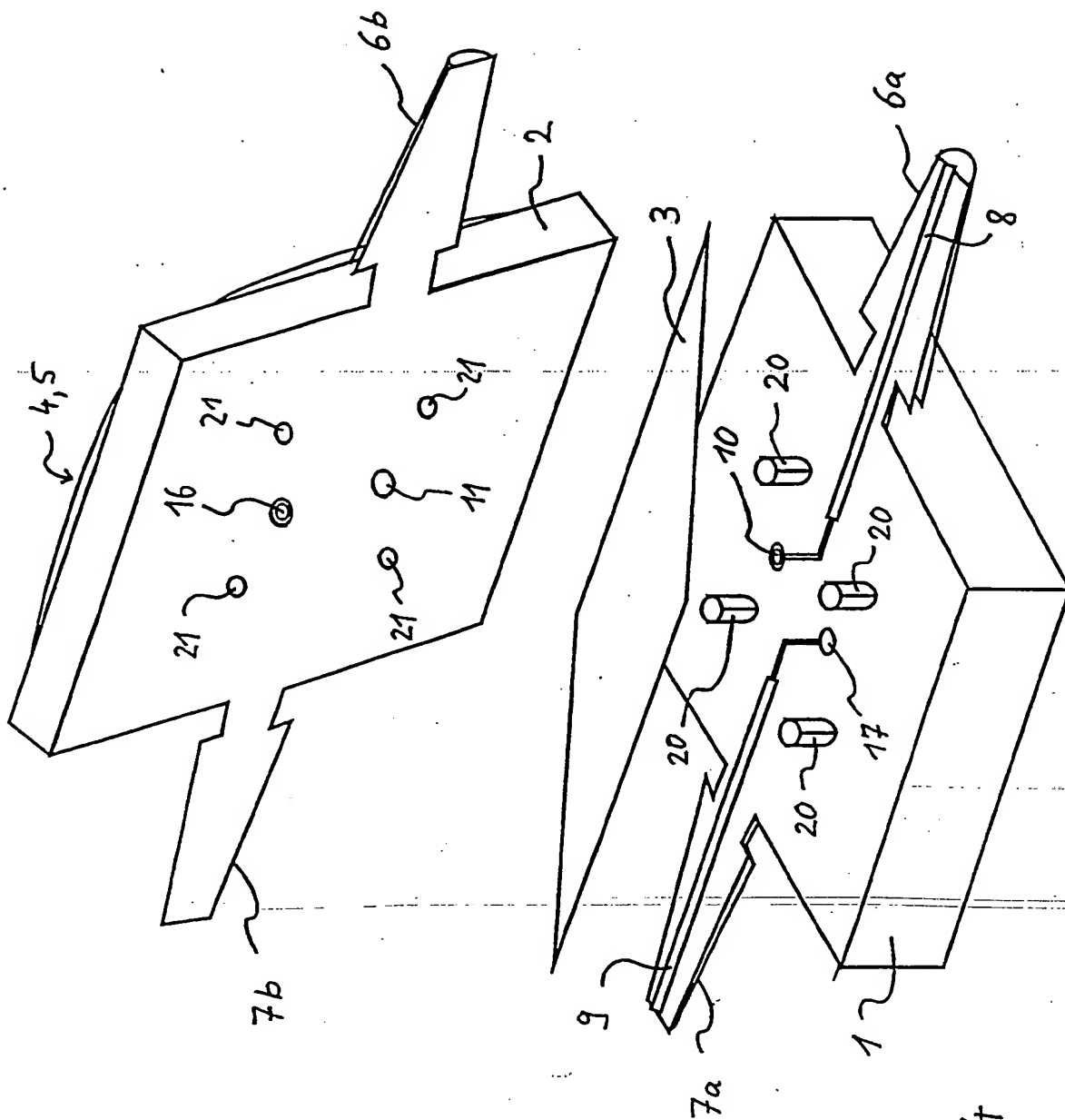


Fig. 4

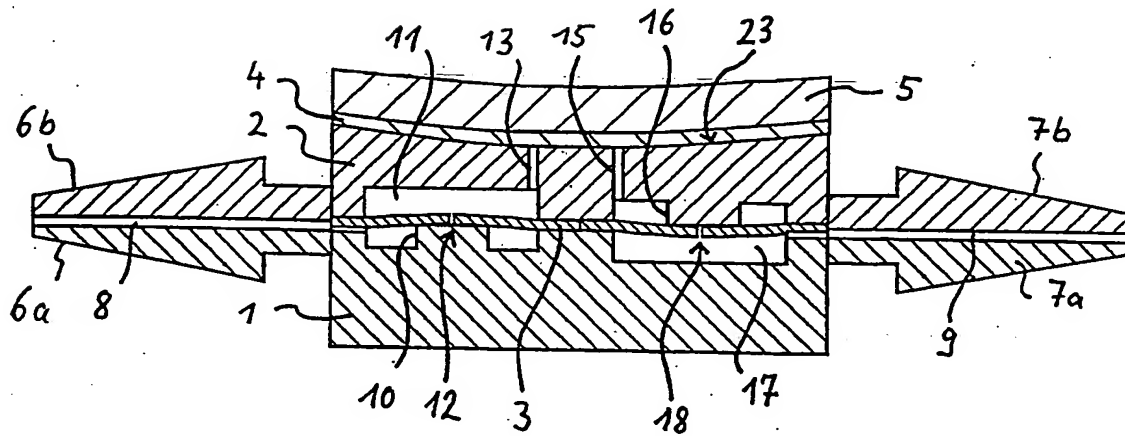


Fig. 5

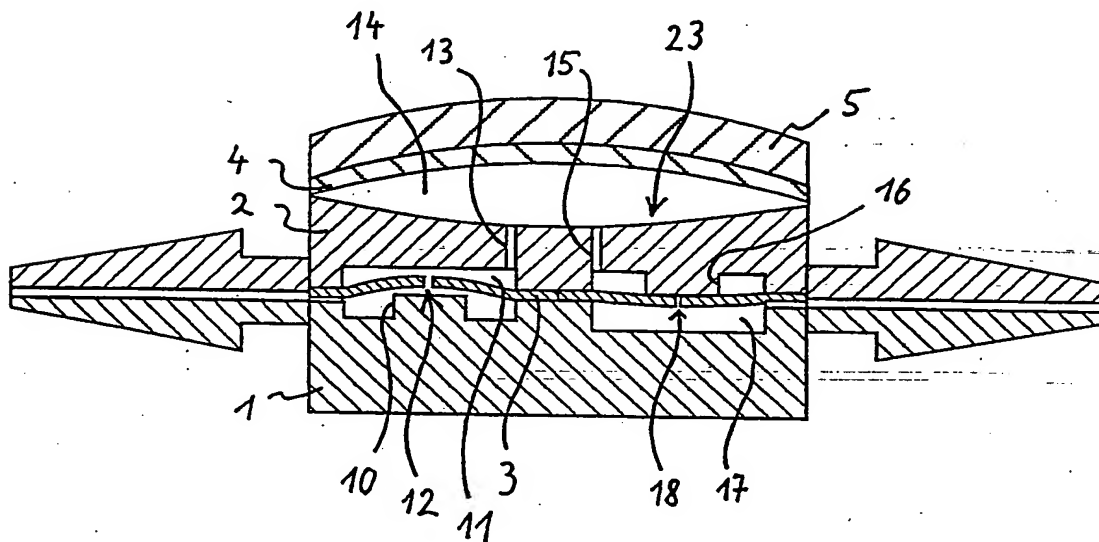


Fig. 6